

## 계측시스템을 활용한 틸팅열차 추진장치 특성 연구

### A Study on TTX Traction Characteristics using Measurement System

한영재<sup>1,a</sup>, 이수길<sup>1</sup>, 박춘수<sup>1</sup>, 한성호<sup>1</sup>, 이준석<sup>1</sup>, 정권일<sup>2</sup>

(Young-Jae Han<sup>1,a</sup>, Su-Gil Lee<sup>1</sup>, Choon-Soo Park<sup>1</sup>, Seong-Ho Han<sup>1</sup>, Jun-Seok Lee<sup>1</sup>, and Kwon-Il Jung<sup>2</sup>)

#### Abstract

Tilting trains are currently in operation in 13 countries around the world. With the advances in tilting technology, verification of economic efficiency, and changes in economic situations, the introduction of tilting trains will rapidly spread across the globe. The measurement system is composed of the industrial computers installed in the console and the measurement racks mounted on each car. It is utilized to accumulate the data by the communication card and the optical cable. The optical cable and power cable are coupled at the connector located in joint of train to make easy to disconnect car each other. The signal conditioner is designed to choose and to extend the channel for each sensor readily. The sensor measurement rack has adopted as decentralization method. It is installed in each car to minimize the cable length. In also, it is manufactured based on 19" rack and covered to protect the cable. In this study, the programs for measurement and analysis were also developed to understand the traction system characteristics of TTX. Using this measurement system, we studied that acceleration test, re-powering test, and gradually powering test. The acceleration performance of TTX is 1.735 km/h/s, and it is inner standard value. The notch test result from 1 to 7 steps, DC link voltage is under standard value, and the output electric current of inverter is controlled normally. From the test results, we saw the performances of the traction systems are normal.

**Key Words** : Traction system, Tilting train, On-line test, Measurement system

#### 1. 서 론

한국형 틸팅열차는 동력분산식으로 설계되어 3량 1unit의 6량이 기본이고, 9량 또는 12량 중련편성 운행이 가능하다. 현재 개발된 차량이 완성차시험을 마친 후에 호남선과 충북선에서 본선시운전 시험을 수행하고 있다[1,2].

추진장치는 차량의 안전에 큰 영향을 주는 핵심 장치로 철도 선진국들은 이 장치의 크기 및 무게 저감, 스위칭 소음과 노이즈 저감 등에 대한 연구를 활발히 수행하고 있다[3-7].

국내에서도 전동차와 고속열차 추진장치에 대한 제어기술 향상, 시험평가 및 고장진단 기술 확보 등에 대해 연구가 진행되고 있다[8-12].

한편, 개발된 틸팅열차 추진장치에 대한 성능평가를 위해 계측시스템이 구성되어 운용중이다. 계측시스템은 국내 독자기술로 개발되었으며, 이전에 개발되어 운용중인 다른 계측시스템보다 한층 진일보한 시스템이다[13].

이러한 계측시스템을 이용하여 본 논문에서는 본선시운전 시험을 진행하면서 한국형 틸팅열차 추진장치에 대한 특성을 파악하였다. 이를 통하여 제작된 추진장치에 대한 성능평가를 정확하게 수행할 수 있었다.

1. 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단 (경기도 의왕시 월암동)

2. 우진산전 전장개발팀

a. Corresponding Author : yjhan@krii.re.kr

접수일자 : 2007. 10. 17

1차 심사 : 2007. 11. 16

심사완료 : 2007. 11. 23

#### 2. 본 론

##### 2.1 차량 주요제원

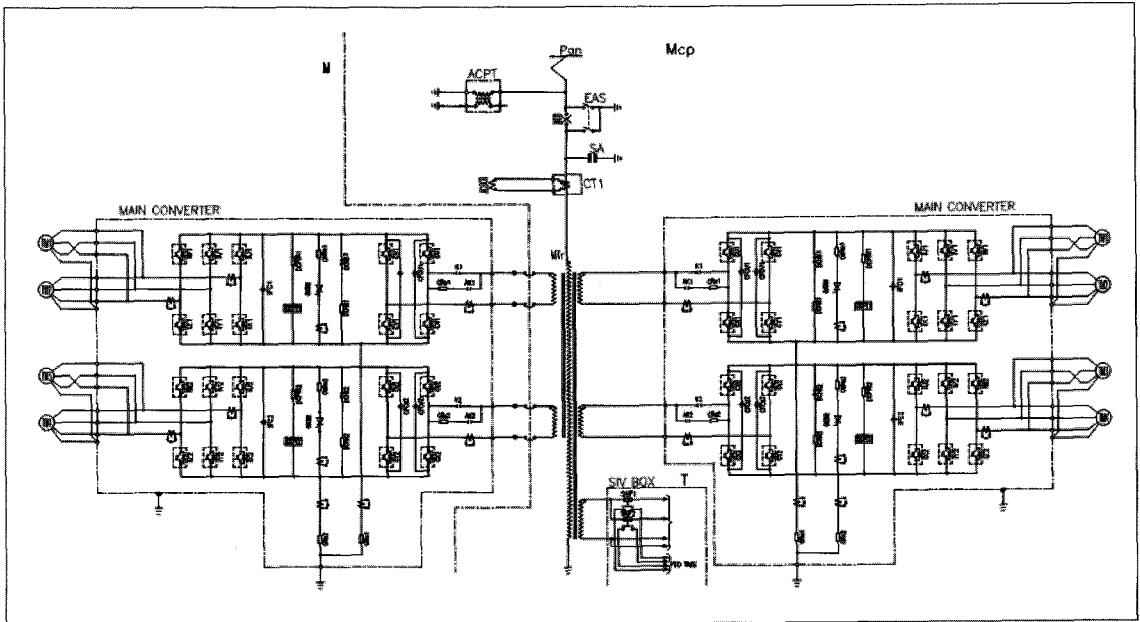


그림 1. 주회로시스템.  
Fig. 1. Main circuit system.

한국형 톨팅열차의 주요제원을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 최고 설계속도 : 200 km/h
- (2) 운행 최고속도 : 180 km/h
- (3) 가선전압 : AC 25 kV, 60 Hz (AC 19 kV ~ 27.5 kV)
- (4) 입력전압 : AC 1,040 V, 60 Hz X 2권선
- (5) 정격 출력 : 1000 kW/Mcar
- (6) 가속도 : 1.8 km/h/s

**2.2 추진장치 시스템**

그림 1에서 볼 수 있는 것처럼, 주회로시스템은 교류전력을 직류로 바꾸는 Converter와 그 직류전력을 3상 교류로 변환하여 주전동기를 구동하는 Inverter로 구성된다. 냉각방식은 Heat Pipe를 이용한 자연냉각 방식으로 저소음화 및 보수의 편리성을 실현하였다. 그림 2는 주변환장치의 실제 모습을 보여준다[14].

제어기는 벡터제어. Beatless 제어를 실시한다. 지상설비에 의한 유도장애, 가선에 의한 전파 장애 대책을 실시하고, 또 장치의 저소음화를 실현한다. 유지보수점검은 장치 전면에서 용이한 구조이다.

컨버터 장치는 주변압기로부터 공급된 AC전압을 IGBT의 스위칭 동작에 의해서 DC전압으로 변환

한다. DC전력은 이 장치의 2set로 출력된다. 또한 제어장치의 명령값에 따라 출력 DC전압을 일정하게 가져가고, DC전력을 VVVF에 공급한다. 그림 3은 컨버터장치의 외형도를 나타낸다.

인버터 장치는 3상 IGBT 브리지가 포함되고 PWM 컨버터에서 공급된 DC 전력을 견인전동기를 구동하기 위한 AC 전력으로 변환시킨다. 이 장치는 TCU의 명령 값에 따라 토크와 회전 속도를 제어하기 위해 출력 전압과 주파수를 가변시킨다.

IGBT 인버터 장치의 내부회로도를 그림 4에서 보여준다. 이 장치는 3.3 kV/1200 A 정격의 IGBT



그림 2. 주변환장치(C/I) 외형.  
Fig. 2. Converter/inverter picture.

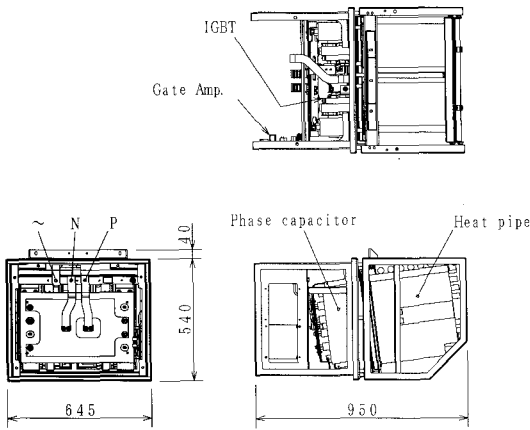


그림 3. 컨버터장치 외형.  
Fig. 3. Converter equipment picture.

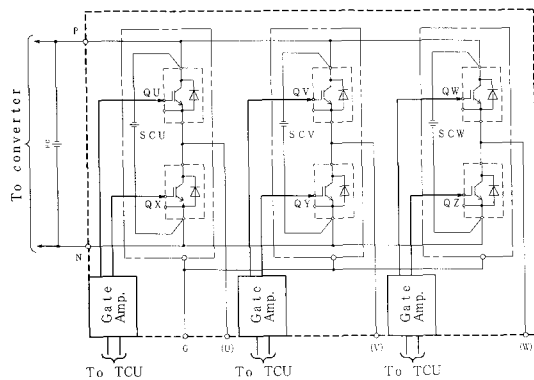


그림 4. 인버터 내부 회로도.  
Fig. 4. Inverter inner circuit diagram.

6개, 3개의 위상 커패시터, 세 개의 Gate Driver Board를 가진다. IGBT 소자는 히트 파이프를 이용하여 자연 냉각한다.

### 2.3 계측시스템의 구성

#### 2.3.1 하드웨어의 구성

측정시스템의 구성은 그림 5와 같이 각 차량마다 계측을 위한 측정장치를 설치하고, 이들 신호는 광케이블을 통해 틸팅차량에 설치된 추진장치의 모든 계측신호를 한 곳에서 관측할 수 있도록 종합측정차에 배치한 종합계측모듈로 전송되어 각 차량에 취부되어 있는 추진장치와 그 외의 차량신호들을 동시에 확인 가능하도록 구성하였다[13].

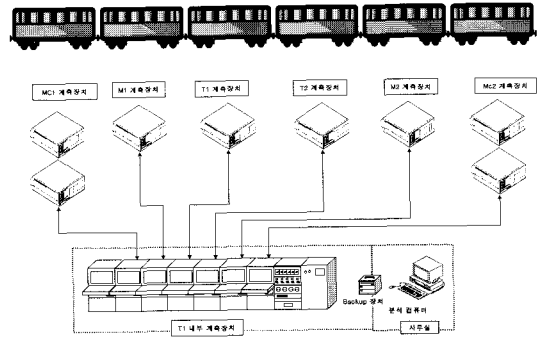


그림 5. 틸팅차량 전체 시스템 구성도.  
Fig. 5. Overall system composition of TTX.

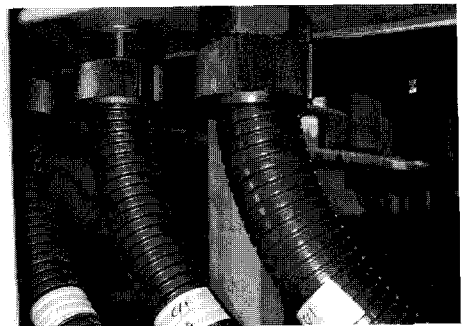


그림 6. 추진장치 측정용 케이블.  
Fig. 6. Measurement cable for traction system.

이러한 계측시스템은 본선 시운전시험 과정에서 발생할 수 있는 추진장치의 고장원인을 찾아내고 해결하여 차량 시스템의 신뢰성과 안정화에 많은 도움을 줄 수 있다.

제작된 차량 추진장치의 신호측정을 위해 차량에 취부되어 있는 제어기로부터 신호를 인출하였다. 이와 같이 케이블을 연결한 이유는 차량 분리시에 케이블의 해체가 간편하고, 차량하부에 취부되어 있는 계측용 케이블의 숫자를 최대한 줄이기 위함이다. 또한 배전반부터 계측시스템까지 케이블을 연결하여 각 신호들을 입력받았다.

그림 6은 M차량의 추진장치 측정을 위해 미리 설치한 CN6과 CN7 커넥터를 보여준다.

#### 2.3.2 프로그램의 구성

계측 프로그램은 T Car에 설치된 계측장비의 제어모듈에 설치되어 전체적인 제어와 계측을 수행하도록 구성된다. 그림 7과 같이 Data 동기화를 위해 제어용 프로그램의(안전 모니터링 프로그램) DC

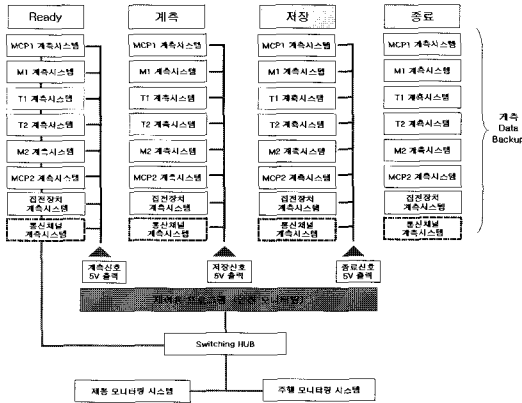


그림 7. 계측 프로그램 구성도.  
Fig. 7. Composition of measurement program.

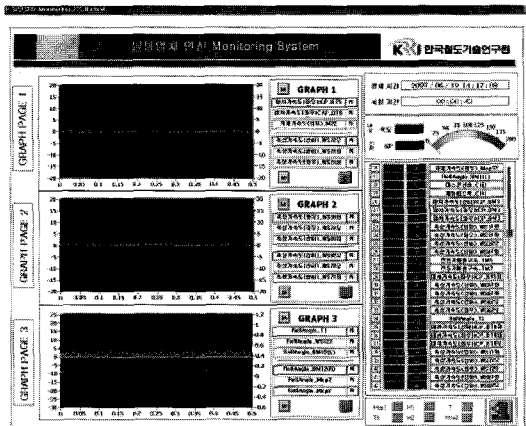


그림 8. 안전 모니터링 프로그램.  
Fig. 8. Safety monitoring program.

5 V의 신호를 받아 Ready 상태에서 Data 계측을 수행하며 계측 중 저장, 종료 등의 모든 명령은 제어 프로그램의 DC 5V 신호에 의해 제어된다.

또한 계측된 Data는 Hard Disk에 실시간 저장되고 1G bps LAN 통신을 이용해서 모니터링 프로그램에 실시간으로 전달된다. 시험 종료 후 각 계측시스템에 저장된 Data는 이동용 저장장치를 이용하여 Data를 Backup하고 사무실로 이동하여 시험데이터를 분석할 수 있도록 구성하였다.

그림 7은 안전 모니터링 프로그램을 보여준다. 그림과 같이, 각 차량 계측시스템에서 안전 모니터링으로 보내준 각각의 계측 정보를 그래프 및 디지털로 볼 수 있다. 또한 각 차량에 Save 정보 및 KP정보 및 상향 하향 방향 설정을 해준다.

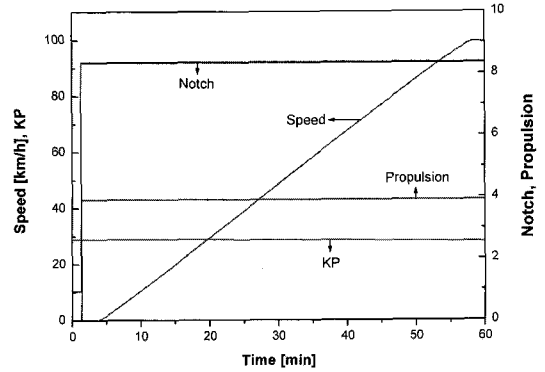


그림 9. 가속도시험 파형.  
Fig. 9. Wave of acceleration test.

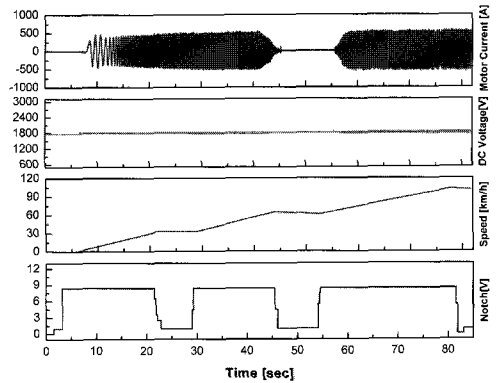


그림 10. 재역행시험 파형.  
Fig. 10. Wave of repowering test.

## 2.4 시험결과

추진장치 특성시험은 크게 기동시험, 추가노치 시험, 재역행시험, 가속도시험 등으로 구분된다. 시운전기간이 짧고 영업열차에 지장을 주지 않는 범위 내에서 차량을 운행해야 하므로, 성능을 평가하기 위한 시험데이터를 얻는데 한계가 있었다. 정상적인 성능을 평가하기 위한 시험을 수행하기는 어려웠지만, 100 km/h 이하에서 차량 운행패턴을 바꿔가며 시운전하여 성능시험 중 일부 시험항목에 대한 시험결과를 얻을 수 있었다.

그림 9는 100 km/h이하 영역에서 차량을 최대견인력으로 기동하고, 그 상태를 유지하여 가속도시험을 진행한 결과이다. 통상적인 경우, 가속도는 80 km/h까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 속도를 그 시간으로 나눈 값으로 하며, 차륜직경이 860 mm일 때 1.72 km/h/s +10%~-5%, 차륜직경이

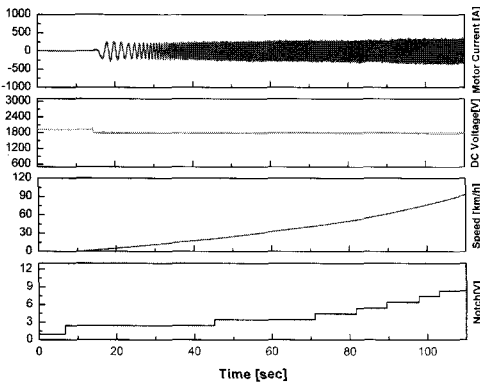


그림 11. 점진적 역행시험 파형.

Fig. 11. Wave of gradually powering test.

820 mm일 때 1.8 km/h/s +10% ~ -5% 이내에 있어야 한다. 그림 9에서 보는 것처럼, 80 km/h까지 도달하는데 46.1초가 걸렸다. 이를 통해 제작된 톨팅차량의 가속도가 1.735 km/h/s로 계산되어 기준치 이내임을 알 수 있었다.

그림 10은 주간제어기를 역행, 타행, 역행 순서로 반복하며 재역행시험을 수행한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 인버터 출력전류 파형의 이상진동이 보이지 않았다. 또한 DC Link 전압도 기준값 이내기 때문에 우수한 재역행 성능을 갖는 것으로 확인되었다.

그림 11은 주간제어기의 노치를 1부터 7까지 한 단계씩 상승시키며 가속상태를 살펴보았다. 재역행 시험과 마찬가지로 DC Link 전압이 기준값 이내이고, 인버터 출력전류가 정상적으로 제어되고 있는 것을 볼 수 있었다.

### 3. 결론

한국형 톨팅열차에 취부되어 있는 추진장치는 차량의 안정성에 큰 영향을 주는 장치이다. 따라서 이 장치에 대한 성능을 확보하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 제작된 추진장치에 대한 시험평가를 위해 상시계측시스템을 개발하였고, 이 시스템을 이용하여 추진장치에 대한 성능을 평가하였다. 시험결과를 통해, 가속도가 1.735 km/h/s로 기준치 이내에 있으며, 역행, 타행, 역행을 반복하며 시험한 재역행시험결과도 우수함을 알 수 있었다.

또한 주간제어기의 노치를 1부터 7까지 한 단계씩 변화하며 점진적 역행시험을 실시한 결과, DC Link 전압값이 기준치 이내에 존재하고 인버터 출

력전류도 정상적으로 제어되고 있는 것을 확인하였다.

향후에는 보다 고속영역에서의 역행 특성, 전기제동의 변화 등에 대해 보다 깊이 있게 연구를 수행할 예정이다.

### 감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 한국형톨팅열차 신뢰성평가 및 운용기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

### 참고 문헌

- [1] 신광복, 구동희, 한성호, "200 km/h급의 한국형 고속톨팅열차(TTX) 개발사업 소개", 한국복합재료학회지, p. 62, 2004.
- [2] 한주섭, 이수길, 한성호, "한국형 톨팅열차 열차제어진단장치의 구성품시험에 관한 연구", 철도학회 2006추계학술대회논문집, p. 144, 2006.
- [3] T. Tsuboi and K. Nakamura, "Control system for traction drives", Hitachi Review, Vol. 35, No. 6, p. 311, 1986.
- [4] S. Nishi, T. Miyashita, Y. Jimbo, and T. Ishikawa, "High power inverter controlled electric locomotive", Hitachi Review, Vol. 40, No. 4, p. 291, 1991.
- [5] G. Coset, "The new generation of SNCF high-speed rolling stock: The TGV- atlantique train", Rail Engineering International Edition, No. 3, p. 15, 1986.
- [6] T. Miyashita, H. Yamaguchi, and N. Okamoto, "High Power Inverter Locomotives", The Japan Society of Mechanical Engineers, p. 238, 1993.
- [7] J. Ito, Y. Hagiwara, and N. Yoshie, "Development of the IGBT applied traction traction system for the series 700 shinkansen high-speed train", International Conference on Developments in Mass Transit System, Conference Publication, No. 543, IEE, p. 25, 1998.
- [8] D. Y. Park, M. S. Kim, D. H. Hwang, J. H. Lee, and Y. J. Kim, "Hybrid re-adhesion control method for traction system of high-speed railway", ICEMS'2001 proc., p. 111, 2001.
- [9] H. J. Ryoo, S. J. Kim, G. H. Rim, Y. J.

- Kim, and M. S. Kim, "Novel anti-slip/slide control algorithm for Korean high-speed train", IECON'2003, Vol. 3, p. 2570, 2003.
- [10] 박현준, 장동욱, 이길현, 최종선, 김정수, "과도 서지를 이용한 가속열화 시험법에 따른 견인 전동기 고정자 코일의 전기적 특성변화", 전기전자재료학회논문지, 16권, 9호, p. 783, 2003.
- [11] 한영재, 김석원, 김영국, 박찬경, 최종선, 김정수, "추진장치 성능측정 시스템에 관한 연구", 한국센서학회지, 12권, 4호, p. 170, 2003.
- [12] 한영재, "제어신호를 이용한 고속철도 전장품의 특성 및 고장 분석", 전기전자재료학회논문지, 19권, 12호, p. 1128, 2006.
- [13] Y. J Han, K. H. Kim, S. W. Kim, S. S. Kim, and Y. M. kim, "A Study on Measurement System for Performance Evaluation of TTX(Tilting Train eXpress) Network", ITC-CSCC, p. 637, 2007.
- [14] 추진제어장치 실용기술개발(5차년도 중간보고서), 우진산전, 2006.